

# Document made available under the Patent Cooperation Treaty (PCT)

International application number: PCT/JP05/006384

International filing date: 31 March 2005 (31.03.2005)

Document type: Certified copy of priority document

Document details: Country/Office: JP  
Number: 2004-203988  
Filing date: 09 July 2004 (09.07.2004)

Date of receipt at the International Bureau: 20 May 2005 (20.05.2005)

Remark: Priority document submitted or transmitted to the International Bureau in compliance with Rule 17.1(a) or (b)



World Intellectual Property Organization (WIPO) - Geneva, Switzerland  
Organisation Mondiale de la Propriété Intellectuelle (OMPI) - Genève, Suisse

日 本 国 特 許 庁  
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日  
Date of Application: 2 0 0 4 年 7 月 9 日

出 願 番 号  
Application Number: 特 願 2 0 0 4 - 2 0 3 9 8 8

パリ条約による外国への出願  
に用いる優先権の主張の基礎  
となる出願の国コードと出願  
番号  
J P 2 0 0 4 - 2 0 3 9 8 8  
The country code and number  
of your priority application,  
to be used for filing abroad  
under the Paris Convention, is

出 願 人  
Applicant(s): 東京電力株式会社

2 0 0 5 年 4 月 2 7 日

特許庁長官  
Commissioner,  
Japan Patent Office

小 川



【書類名】 特許願  
【整理番号】 T02P028  
【あて先】 特許庁長官 殿  
【国際特許分類】 G01P 5/22  
【発明者】  
    【住所又は居所】 東京都千代田区内幸町1丁目1番3号 東京電力株式会社内  
    【氏名】 森 治嗣  
【発明者】  
    【住所又は居所】 東京都千代田区内幸町1丁目1番3号 東京電力株式会社内  
    【氏名】 手塚 英昭  
【特許出願人】  
    【識別番号】 000003687  
    【氏名又は名称】 東京電力株式会社  
【代理人】  
    【識別番号】 100101742  
    【弁理士】  
    【氏名又は名称】 麦島 隆  
    【電話番号】 03-5652-5580  
    【連絡先】 担当  
【選任した代理人】  
    【識別番号】 100101384  
    【弁理士】  
    【氏名又は名称】 的場 成夫  
【先の出願に基づく優先権主張】  
    【出願番号】 特願2004-102162  
    【出願日】 平成16年 3月31日  
【手数料の表示】  
    【予納台帳番号】 107918  
    【納付金額】 16,000円  
【提出物件の目録】  
    【物件名】 特許請求の範囲 1  
    【物件名】 明細書 1  
    【物件名】 図面 1  
    【物件名】 要約書 1

## 【書類名】 特許請求の範囲

### 【請求項 1】

被測定流体に含まれる粒子の画像を微小時間間隔で撮像する撮像手段と、前記撮像手段を制御する制御手段と、前記撮像手段で取得した 2 時刻の輝度パターン分布を比較して、粒子群の移動方向及び移動量を計測し、被測定流体の流れ場を解析する画像処理手段とを備えた流体計測システムであって、

前記撮像手段が長焦点光学系を備え、長距離離間した被測定流体を撮像可能な長距離型であることを特徴とする流体計測システム。

### 【請求項 2】

被測定流体に含まれる粒子の画像を微小時間間隔で撮像する撮像手段と、前記撮像手段を制御する制御手段と、前記撮像手段で取得した 2 時刻の輝度パターン分布を比較して、粒子群の移動方向及び移動量を計測し、被測定流体の流れ場を解析する画像処理手段とを備えた流体計測システムであって、

前記撮像手段が長焦点光学系を備え、長距離離間した被測定流体中の自然光反射による輝度パターン分布を撮像可能な長距離型であることを特徴とする流体計測システム。

### 【請求項 3】

被測定流体に含まれる粒子の画像を微小時間間隔で撮像する撮像手段と、前記撮像手段を制御する制御手段と、前記撮像手段で取得した 2 時刻の輝度パターン分布を比較して、粒子群の移動方向及び移動量を計測し、被測定流体の流れ場を解析する画像処理手段と、レーザ光を被測定流体中にシート状に投入させるレーザ光投入手段とを備えた流体計測システムであって、

前記撮像手段が長焦点光学系を備え、長距離離間した被測定流体中のレーザ光反射による輝度パターン分布を撮像可能な長距離型であることを特徴とする流体計測システム。

### 【請求項 4】

前記撮像手段の設置位置から 10 m 以上 20 km 以下離間した被測定流体を撮像可能な長距離型であることを特徴とする請求項 1～3 のいずれか 1 に記載の流体計測システム。

### 【請求項 5】

前記制御手段は、画像処理手段により得られる 2 時刻の粒子画像における粒子群の移動距離が所定の設定移動画素数範囲内に収まるような焦点距離を演算する焦点距離調整手段を有し、

前記焦点距離調整手段により得られた焦点距離に対応する長焦点光学系を選択し、該長焦点光学系を撮像手段に装着して撮像するものであることを特徴とする請求項 1～4 のいずれか 1 に記載の流体計測システム。

### 【請求項 6】

前記焦点距離調整手段が、次の関係式 (1)、(2)

$$\text{設定移動画素数} = V \times \Delta t / D \cdots (3)$$

$$D = f / L \times \text{const} \cdots (4)$$

(但し、「 $V$ 」は被測定流体の仮速度、「 $\Delta t$ 」は 2 時刻の撮像時間間隔、「 $D$ 」は撮像手段の 1 画素あたりに映る像の大きさ、「 $f$ 」は焦点距離、「 $L$ 」は被測定流体までの距離、「 $\text{const}$ 」は実験から得られた定数である。)

を満足する焦点距離  $f$  を演算する構成であることを特徴とする請求項 5 記載の流体計測システム。

### 【請求項 7】

前記被測定流体の仮速度  $V$  が、被測定流体の最大流速  $V_{\text{max}}$  であることを特徴とする請求項 6 記載の流体計測システム。

### 【請求項 8】

前記長焦点光学系に含まれる副鏡は、鏡筒内において、各面が主鏡の光軸に対して直交する向きで配置される平行平板ガラスによって支持されていることを特徴とする請求項 1～7 のいずれか 1 に記載の流体計測システム。

### 【請求項 9】

撮像手段により得られた粒子画像から、被測定流体の乱流構造を抽出する手段を備え、抽出された乱流構造の移動方向及び移動量を計測することにより、被測定流体の流れ場を解析する構成であることを特徴とする請求項 1 ～ 8 のいずれか 1 に記載の流体計測システム。

【請求項 10】

前記乱流構造を抽出する手段が、画像を輝度の空間周波数成分へ変換する手段、変換された周波数成分から所定以上の高周波成分を残すハイパスフィルタ、及びハイパスフィルタによりフィルタリング処理した後の周波数成分を画像へ変換する手段を備えていることを特徴とする請求項 9 記載の流体計測システム。

【請求項 11】

前記ハイパスフィルタによるフィルタリング時の空間周波数  $f'$  を、次式、  
$$(S_t/D) \times 1/3 \leq f' \leq (S_t/D) \times 5$$
  
(但し、式中、「 $S_t$ 」はストローハル数、「 $D$ 」は乱流構造を発生する物体の代表長さである。)により決定することを特徴とする請求項 10 記載の流体計測システム。

【請求項 12】

前記長焦点光学系は、主鏡の中央部を含む一部分を任意の遮蔽率で遮蔽する遮蔽体が付設されていることを特徴とする請求項 1 ～ 11 のいずれか 1 に記載の流体計測システム。

【請求項 13】

前記長焦点光学系の口径に対する前記遮蔽体の直径の比率で求められる遮蔽率を、任意に調整可能に設けられていることを特徴とする請求項 12 記載の流体計測システム。

【請求項 14】

前記遮蔽率は、撮像手段により得られる一つの粒子画像が 2 画素以上に跨る場合に 20 ～ 60 % の範囲に設定され、1 画素中に複数の粒子画像が含まれる場合に 0 ～ 40 % の範囲に設定されることを特徴とする請求項 12 又は 13 記載の流体計測システム。

【請求項 15】

長距離離間した被測定流体に含まれる粒子の画像を、長焦点光学系を備えた撮像手段により微小時間間隔で撮像し、

前記撮像手段により取得した 2 時刻の粒子画像の輝度パターン分布を比較して、粒子群の移動方向及び移動量を計測し、

前記粒子群の移動方向及び移動量から前記被測定流体の流れ場を解析することを特徴とする流体計測方法。

【請求項 16】

被測定流体の自然光反射による輝度パターン分布を撮像し、被測定流体の流れ場を解析することを特徴とする請求項 15 記載の流体計測方法。

【請求項 17】

被測定流体中にレーザ光をシート状に投入させ、被測定流体のレーザ光反射による輝度パターン分布を撮像し、被測定流体の流れ場を解析することを特徴とする請求項 16 記載の流体計測方法。

【請求項 18】

前記撮像手段の設置位置から 10 m 以上 20 km 以下離間した被測定流体を撮像し、該被測定流体の流れ場を解析することを特徴とする請求項 15 ～ 17 のいずれか 1 に記載の流体計測方法。

【請求項 19】

被測定流体として、前記撮像手段の設置位置から 10 m 以上 20 km 以下離間した煙突排煙、火山灰、水蒸気、黄砂又は空気の流れ場を解析することを特徴とする請求項 15 ～ 18 のいずれか 1 に記載の流体計測方法。

【請求項 20】

撮像手段により得られた粒子画像の 1 画素中に含まれる粒子数が複数である場合に、被測定流体の乱流構造を抽出し、抽出された乱流構造の移動方向及び移動量を計測すること

により、被測定流体の流れ場を解析することを特徴とする請求項 15～19 のいずれか 1 に記載の流体計測方法。

【請求項 21】

鏡筒に主鏡及び副鏡が支持されて構成される長焦点光学系であって、  
前記主鏡の中央部を含む一部分を所定の遮蔽率で遮蔽する遮蔽体が付設されていることを特徴とする長焦点光学系。

【請求項 22】

口径に対する前記遮蔽体の直径により求められる遮蔽率を、撮像手段により得られる一つの粒子画像が 2 画素以上に跨る場合に 20～60 % の範囲に設定可能であり、1 画素中に複数の粒子画像が含まれる場合に 0～40 % の範囲に設定可能であることを特徴とする請求項 21 記載の長焦点光学系。

【請求項 23】

前記副鏡は、鏡筒内において、各面が主鏡の光軸に対して直交する向きで配置される平行平板ガラスによって支持されていることを特徴とする請求項 21 又は 22 記載の長焦点光学系。

【請求項 24】

長距離離間した被測定流体に含まれる粒子の画像を微小時間間隔で撮像する撮像手段と、前記撮像手段を制御する制御手段と、前記撮像手段で取得した 2 時刻の輝度パターン分布を比較して、粒子群の移動方向及び移動量を計測し、被測定流体の流れ場を解析する画像処理手段とを備えた流体計測システムにおける前記撮像手段に用いられることを特徴とする請求項 21～23 のいずれか 1 に記載の長焦点光学系。

【書類名】 明細書

【発明の名称】 流体計測システム、流体計測方法及び長焦点光学系

【技術分野】

【0001】

本発明は、遠方の被測定流体の流れ場を解析する長距離型の流体計測システム、流体計測方法及び該流体計測システムに用いられる長焦点光学系に関する。

【背景技術】

【0002】

例えば、発電施設などの煙突から排出される煙を遠方から観測するシステムとして、特許文献1、特許文献2に開示された技術が知られている。これらは、ITVカメラやカラーカメラを複数台用い、各カメラ間の視差や色差を利用して煙突から排出される煙の有無を検知する。

【特許文献1】 特開昭63-88428号公報

【特許文献2】 特開平10-232198号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0003】

発電所等の煙突から排出される煙、水蒸気、火山灰、黄砂などについては、発電所等の運転管理や周辺環境への影響予測等のため、煙等の流れの速度や方向などの流動を検知することが望まれる。しかるに、特許文献1及び2に開示された技術では、煙等の有無を検知できるのみである。

【0004】

一方、近年、複雑な流れ場の流動を、粒子画像の処理により高精度かつ精密に測定する画像相関法及び粒子追跡法（PTV）などの粒子画像流速測定法（以下、「PIV」という）が知られている。例えば、被測定流体の流れ場にレーザー光をシート状に投入してレーザーシートを形成して、レーザーシート上の2時刻の粒子画像を撮像し、その輝度パターン分布を比較して流体の流速や方向を測定する。しかしながら、PIVは、水・オイルなどの液体の流れ場解析、燃焼の流れ場解析、自動車等の移動物体周囲における風洞実験による流れ場解析など、主として、閉空間における流体の流れ場解析に用いられているに過ぎない。すなわち、従来のPIVは、被測定流体までの距離が1メートル程度といった近距離のいわゆる実験室用として開発されているに過ぎず、実用レベルでの利用が望まれている。

【0005】

本発明は上記に鑑みなされたものであり、煙突の排煙、水蒸気、火山灰、黄砂などの遠方の被測定流体の流動を検知でき、PIVの実用レベルでの新たな用途を提供可能な流体計測システム、流体計測方法及び該流体計測システムに用いられる長焦点光学系を提供することを課題とする。

【課題を解決するための手段】

【0006】

上記課題を解決するに当たって、本発明者らは、まず、長焦点光学系を利用することに着目した。その一方、上記した遠方の被測定流体は、実験室内と異なり、その最大流速が未知であるか又は検知しにくい場合があるため、長焦点光学系の焦点距離とマッチングせず、撮像手段により得られる2時刻の粒子画像における粒子群の移動距離がPIV解析するのに適さないおそれがある。そこで、本発明者らはかかる点に鑑み、PIV解析に適する粒子画像を得る適切な焦点距離を備えた長焦点光学系を選択する手段も開発し、本発明を完成するに至った。また、被測定流体までの距離が長いと、撮像手段の1画素中に複数の粒子画像が含まれる場合があるが、この場合には、各粒子画像の移動量を求めることはできない。そこで、本発明者は、かかる場合に、被測定流体の乱流構造（渦、ないしは渦に類似した流れ構造からなるクラスタ）を抽出することにも着目した。

【0007】

すなわち、請求項 1 記載の発明では、被測定流体に含まれる粒子の画像を微小時間間隔で撮像する撮像手段と、前記撮像手段を制御する制御手段と、前記撮像手段で取得した 2 時刻の輝度パターン分布を比較して、粒子群の移動方向及び移動量を計測し、被測定流体の流れ場を解析する画像処理手段とを備えた流体計測システムであって、

前記撮像手段が長焦点光学系を備え、長距離離間した被測定流体を撮像可能な長距離型であることを特徴とする流体計測システムを提供する。

請求項 2 記載の発明では、被測定流体に含まれる粒子の画像を微小時間間隔で撮像する撮像手段と、前記撮像手段を制御する制御手段と、前記撮像手段で取得した 2 時刻の輝度パターン分布を比較して、粒子群の移動方向及び移動量を計測し、被測定流体の流れ場を解析する画像処理手段とを備えた流体計測システムであって、

前記撮像手段が長焦点光学系を備え、長距離離間した被測定流体中の自然光反射による輝度パターン分布を撮像可能な長距離型であることを特徴とする流体計測システムを提供する。

請求項 3 記載の発明では、被測定流体に含まれる粒子の画像を微小時間間隔で撮像する撮像手段と、前記撮像手段を制御する制御手段と、前記撮像手段で取得した 2 時刻の輝度パターン分布を比較して、粒子群の移動方向及び移動量を計測し、被測定流体の流れ場を解析する画像処理手段と、レーザ光を被測定流体中にシート状に投入させるレーザ光投入手段とを備えた流体計測システムであって、

前記撮像手段が長焦点光学系を備え、長距離離間した被測定流体中のレーザ光反射による輝度パターン分布を撮像可能な長距離型であることを特徴とする流体計測システムを提供する。

請求項 4 記載の発明では、前記撮像手段の設置位置から 10 m 以上 20 km 以下離間した被測定流体を撮像可能な長距離型であることを特徴とする請求項 1～3 のいずれか 1 に記載の流体計測システムを提供する。

請求項 5 記載の発明では、前記制御手段は、画像処理手段により得られる 2 時刻の粒子画像における粒子群の移動距離が所定の設定移動画素数範囲内に収まるような焦点距離を演算する焦点距離調整手段を有し、

前記焦点距離調整手段により得られた焦点距離に対応する長焦点光学系を選択し、該長焦点光学系を撮像手段に装着して撮像するものであることを特徴とする請求項 1～4 のいずれか 1 に記載の流体計測システムを提供する。

請求項 6 記載の発明では、前記焦点距離調整手段が、次の関係式 (1)、(2)

$$\text{設定移動画素数} = V \times \Delta t / D \cdots (3)$$

$$D = f / L \times \text{const} \cdots (4)$$

(但し、「V」は被測定流体の仮速度、「 $\Delta t$ 」は 2 時刻の撮像時間間隔、「D」は撮像手段の 1 画素あたりに映る像の大きさ、「f」は焦点距離、「L」は被測定流体までの距離、「const」は実験から得られた定数である。)

を満足する焦点距離 f を演算する構成であることを特徴とする請求項 5 記載の流体計測システムを提供する。

請求項 7 記載の発明では、前記被測定流体の仮速度 V が、被測定流体の最大流速  $V_{max}$  であることを特徴とする請求項 6 記載の流体計測システムを提供する。

請求項 8 記載の発明では、前記長焦点光学系に含まれる副鏡は、鏡筒内において、各面が主鏡の光軸に対して直交する向きで配置される平行平板ガラスによって支持されていることを特徴とする請求項 1～7 のいずれか 1 に記載の流体計測システムを提供する。

請求項 9 記載の発明では、撮像手段により得られた粒子画像から、被測定流体の乱流構造を抽出する手段を備え、抽出された乱流構造の移動方向及び移動量を計測することにより、被測定流体の流れ場を解析する構成であることを特徴とする請求項 1～8 のいずれか 1 に記載の流体計測システムを提供する。

請求項 10 記載の発明では、前記乱流構造を抽出する手段が、画像を輝度の空間周波数成分へ変換する手段、変換された周波数成分から所定以上の高周波成分を残すハイパスフィルタ、及びハイパスフィルタによりフィルタリング処理した後の周波数成分を画像へ変



換する手段を備えていることを特徴とする請求項 9 記載の流体計測システムを提供する。

請求項 11 記載の発明では、前記ハイパスフィルタによるフィルタリング時の空間周波数  $f'$  を、次式、

$$(S_t/D) \times 1/3 \leq f' \leq (S_t/D) \times 5$$

(但し、式中、「 $S_t$ 」はストローハル数、「 $D$ 」は乱流構造を発生する物体の代表長さである。)

により決定することを特徴とする請求項 10 記載の流体計測システムを提供する。

請求項 12 記載の発明では、前記長焦点光学系は、主鏡の中央部を含む一部分を任意の遮蔽率で遮蔽する遮蔽体が付設されていることを特徴とする請求項 1～11 のいずれか 1 に記載の流体計測システムを提供する。

請求項 13 記載の発明では、前記長焦点光学系の口径に対する前記遮蔽体の直径の比率で求められる遮蔽率を、任意に調整可能に設けられていることを特徴とする請求項 12 記載の流体計測システムを提供する。

請求項 14 記載の発明では、前記遮蔽率は、撮像手段により得られる一つの粒子画像が 2 画素以上に跨る場合に 20～60% の範囲に設定され、1 画素中に複数の粒子画像が含まれる場合に 0～40% の範囲に設定されることを特徴とする請求項 12 又は 13 記載の流体計測システムを提供する。

請求項 15 記載の発明では、長距離離間した被測定流体に含まれる粒子の画像を、長焦点光学系を備えた撮像手段により微小時間間隔で撮像し、

前記撮像手段により取得した 2 時刻の粒子画像の輝度パターン分布を比較して、粒子群の移動方向及び移動量を計測し、

前記粒子群の移動方向及び移動量から前記被測定流体の流れ場を解析することを特徴とする流体計測方法を提供する。

請求項 16 記載の発明では、被測定流体の自然光反射による輝度パターン分布を撮像し、被測定流体の流れ場を解析することを特徴とする請求項 15 記載の流体計測方法を提供する。

請求項 17 記載の発明では、被測定流体中にレーザ光をシート状に投入させ、被測定流体のレーザ光反射による輝度パターン分布を撮像し、被測定流体の流れ場を解析することを特徴とする請求項 16 記載の流体計測方法を提供する。

請求項 18 記載の発明では、前記撮像手段の設置位置から 10 m 以上 20 km 以下離間した被測定流体を撮像し、該被測定流体の流れ場を解析することを特徴とする請求項 15～17 のいずれか 1 に記載の流体計測方法を提供する。

請求項 19 記載の発明では、被測定流体として、前記撮像手段の設置位置から 10 m 以上 20 km 以下離間した煙突排煙、火山灰、水蒸気、黄砂又は空気の流れ場を解析することを特徴とする請求項 15～18 のいずれか 1 に記載の流体計測方法を提供する。

請求項 20 記載の発明では、撮像手段により得られた粒子画像の 1 画素中に含まれる粒子数が複数である場合に、被測定流体の乱流構造を抽出し、抽出された乱流構造の移動方向及び移動量を計測することにより、被測定流体の流れ場を解析することを特徴とする請求項 15～19 のいずれか 1 に記載の流体計測方法を提供する。

請求項 21 記載の発明では、鏡筒に主鏡及び副鏡が支持されて構成される長焦点光学系であって、

前記主鏡の中央部を含む一部分を所定の遮蔽率で遮蔽する遮蔽体が付設されていることを特徴とする長焦点光学系を提供する。

請求項 22 記載の発明では、口径に対する前記遮蔽体の直径により求められる遮蔽率を、撮像手段により得られる一つの粒子画像が 2 画素以上に跨る場合に 20～60% の範囲に設定可能であり、1 画素中に複数の粒子画像が含まれる場合に 0～40% の範囲に設定可能であることを特徴とする請求項 21 記載の長焦点光学系を提供する。

請求項 23 記載の発明では、前記副鏡は、鏡筒内において、各面が主鏡の光軸に対して直交する向きで配置される平行平板ガラスによって支持されていることを特徴とする請求項 21 又は 22 記載の長焦点光学系を提供する。

請求項 2 4 記載の発明では、長距離離れた被測定流体に含まれる粒子の画像を微小時間間隔で撮像する撮像手段と、前記撮像手段を制御する制御手段と、前記撮像手段で取得した 2 時刻の輝度パターン分布を比較して、粒子群の移動方向及び移動量を計測し、被測定流体の流れ場を解析する画像処理手段とを備えた流体計測システムにおける前記撮像手段に用いられることを特徴とする請求項 2 1 ～ 2 3 のいずれか 1 に記載の長焦点光学系を提供する。

#### 【発明の効果】

##### 【0 0 0 8】

本発明によれば、長焦点光学系と撮像した 2 時刻の粒子画像を比較して解析する画像処理手段とを備えているため、接近困難な被測定流体の流れ場を解析することができ、P I V システムの実用レベルでの新たな用途を提供できた。

また、適切な焦点距離を備えた長焦点光学系を選択可能な焦点距離調整手段を設けることにより、遠方の被測定流体の流れ場を正確に解析することができた。

また、遠方の被測定流体を撮像するため、1 画素当たりに映る像の大きさ  $D$  と焦点距離  $f$  とを線形比例とみなせることができ、これを利用した関係式を用いて適切な焦点距離を備えた長焦点光学系を選択可能とすることにより、被測定流体の最大流速を知ることができない場合であっても、流れ場を迅速かつ正確に解析することができた。

また、画像の輝度信号から所定以上の高周波成分を残すためのハイパスフィルタを備えた構成とした場合には、被測定流体中に生じている乱流構造を抽出することができ、かかる乱流構造を捉えて P I V 手法を適用することにより、自然光下、より遠方の被測定流体を解析することが可能となる。

また、被測定流体の乱流構造を抽出する手段を備えることにより、撮像手段の 1 画素中に複数の粒子画像が含まれる場合でも、抽出された乱流構造の移動方向及び移動量を計測することにより、被測定流体の流れ場を解析できる。

#### 【発明を実施するための最良の形態】

##### 【0 0 0 9】

以下、本発明の実施形態を図面に基づいて更に詳しく説明する。図 1 は、本発明の一の実施形態に係る流体計測システム 1 を示し、撮像手段としての、長焦点光学系 3 を備えた C C D カメラ 2、コンピュータ 4、レーザ光投入手段 5 等を備えて構成される。

##### 【0 0 1 0】

C C D カメラ 2 に、長焦点光学系 3 が装着されるが、長焦点光学系 3 としては、単焦点系のレンズ（以下、「単レンズ」という）を用いることが好ましい。この場合、ターレットを設け、複数種類の単レンズを選択可能な構成とすることがより好ましい。ターレットを用いることにより、単レンズの自動選択も可能となる。ズーム機能を有するレンズの場合、一般に像面湾曲が大きい点で欠点があるが、高屈折率のガラスで安定した像が得られるものであれば使用することができる。なお、本実施形態では、撮像手段として、C C D 撮像素子を備えたカメラ（C C D カメラ）を使用しているが、これに代え、C M O S 撮像素子を備えたカメラを用いることもできる。

##### 【0 0 1 1】

また、長焦点光学系 3 を構成する光学望遠鏡としては、ニュートン式、カセグレイン式等のいずれでも使用可能であるが、主鏡には、その中央部を含む部分を任意の遮蔽率で遮蔽する遮蔽体を付設した構成とすることが好ましい。これにより、トレーサー粒子画像は、輪郭が際立った状態を維持して、すなわちピンぼけするのではなく、ピントが合ったまま拡大される。長焦点光学系により撮像した場合、該光学系の倍率が高くなるほど画像が暗くなってしまい、P I V 手法による解析が困難となるが、このような中央遮蔽体を設けることにより、トレーサーの粒子画像が拡大され、長焦点光学系を用いているにも拘わらず、P I V 手法による解析が可能な輝度を有する画像を撮像できる。長焦点光学系を用いた場合でも、各粒子を C C D 撮像素子の 2 画素以上に跨って捉えられる範囲では、後述の乱流構造を抽出する手法を用いることなく、このような手法で撮像可能である。なお、好ましい遮蔽率については後述の試験例において説明するが、遮蔽体は、遮蔽率を任意に変

更可能に設けられていることが好ましい。。また、本発明では、長距離離間した被測定流体に含まれる粒子の画像を撮像することから、かかる粒子は十分小さな被写体である。従って、撮像面では、粒子像そのものではなく、エアリーディスクを見ていることになるため、本明細書において、「粒子画像」とは、エアリーディスクの画像を指す。

#### 【0012】

また、副鏡は、鏡筒内において副鏡支持具（スパイダー）によって支持されているが、粒子画像を拡大すると、十字型などのスパイダーによる光芒が写し出され、これが粒子画像と重なるなどして判別が困難となる。そこで、従来使用されている十字型などのスパイダーに代え、鏡筒内で、各面が主鏡の光軸に対して直交する向きとなるように配置した平行平板ガラスに副鏡を支持することが好ましい。平行平板ガラスであるため、光の反射が低減され、ノイズとなる光芒の写りを低減できる。なお、平行平板ガラスとしては、光学ガラスから形成することが好ましい。

#### 【0013】

コンピュータ4は、図1及び図2に示したように、CCDカメラ2に接続され、CCDカメラ2の駆動を制御する制御手段41と、CCDカメラ2により撮影された画像信号を受信して所定の処理を行う画像取り込み手段42及び画像処理手段43とを備えてなる。制御手段41は、CCDカメラ2の適切な焦点距離 $f$ の算出等を行う焦点距離調整手段41aを備えてなるが、詳細については後述する。画像取り込み手段42は、CCDカメラ2からのアナログ画像信号をデジタル化するフレームグラバボードを備えてなる。画像処理手段43は、フレームグラバボードから出力されるデジタル画像信号である画像フレームをPIV手法により解析処理する。なお、画像処理手段43の前段に、像の歪み収差などを補正する回路を設けることもできる。

#### 【0014】

画像処理手段43では、CCDカメラ2により微小時間間隔において撮像された2時刻の粒子画像を輝度パターンの分布とみなし、2つの粒子画像を比較解析して粒子群の移動量を推定する。すなわち、粒子画像中のある1点の値を輝度値とし、この輝度値が粒子画像中の所定領域に分布しているものを輝度パターンとして、相互相関法又は輝度差累積法により、かかる輝度パターンの類似度を求め、2画像間の粒子群の画素上の移動量及び移動方向を求める。そして、粒子群の画素上移動量・移動方向と微小時間間隔 $\Delta t$ とにより、被測定流体の実際の流速、流れの方向を求め、流れ場を解析する。

#### 【0015】

レーザ光投入手段5は、半導体レーザ等のレーザ発振装置とレーザシート形成用の複数のレンズ群からなる走査光学系とを備えて構成され、レーザ発振装置から発振されるレーザ光が走査光学系によりシート状になり、被測定流体の流れ場に投入される。

#### 【0016】

ここで、画像処理手段43により解析処理して粒子群の移動量等を求めるに当たって、2時刻の粒子画像中の所定の輝度パターンの粒子群が離れすぎていては、両者の相関を知ることが困難である。従って、粒子群の移動距離は縦又は横の全画素数に対して0.5～10%程度（例えば、縦（又は横）の全画素数1000画素の場合で、5～100画素）の領域に収まっていることが好ましい。その一方、本発明では、撮像手段であるCCDカメラ2から長距離離間した遠方の被測定流体の流れ場を解析することを目的としており、CCDカメラ2に長焦点光学系3を装着しているが、粒子群の移動量が上記領域に収まるか否かは、長焦点光学系3の焦点距離 $f$ に依存すると共に、2時刻の撮像時間間隔 $\Delta t$ 、及び被測定流体までの距離 $L$ にも依存する。

#### 【0017】

このため、上記制御手段41の焦点距離調整手段41aでは、画像処理手段43により得られる2時刻の粒子画像における粒子群の移動距離が、上記範囲内に収まるようにするため、適切な焦点距離 $f$ を求める演算を行う。具体的には、次の関係式（1）、（2）より、上記範囲内に設定される2時刻の粒子画像における粒子群の設定移動画素数と、かかる設定移動画素数に対応する焦点距離 $f$ を求める。

$$\text{設定移動画素数} = V \times \Delta t / D \cdots (1)$$

$$D = f / L \times \text{const} \cdots (2)$$

但し、 $V$ は被測定流体の仮速度、 $\Delta t$ は2時刻の撮像時間間隔、 $D$ は1画素あたりに映る像の大きさ、 $L$ は撮像手段の設置位置から被測定流体までの距離、 $\text{const}$ は実験から得られた定数である。

#### 【0018】

(2)式より、1画素あたりに映る像の大きさと $D$ と焦点距離 $f$ とを線形比例の関係とみなし、上記範囲に収まる移動画素数に対応する適切な焦点距離 $f$ を求めることができる。1画素あたりに映る像の大きさ $D$ と焦点距離 $f$ とを線形比例とみなせるのは、被測定流体までの距離 $L$ が遠いことによるものであり、このようにして焦点距離 $f$ を調整することにより、短い処理時間で適切な長焦点光学系3を選択できる。

#### 【0019】

なお、被測定流体までの距離 $L$ が短い場合には、1画素あたりに映る像の大きさ $D$ と焦点距離 $f$ との関係は非線形となるため、この場合には、両者の相関を示す非線形テーブルを設定しておくことで対処できる。但し、テレセントリック系の光学系を用いることにより、上記と同様に線形比例とみなして計算することもできる。

#### 【0020】

上記した焦点距離調整手段41aでは、被測定流体までの距離 $L$ を、所定の方法で計測して求めて、被測定流体の仮速度 $V$ を決定し、上記関係式により、該距離 $L$ と仮速度 $V$ に対応する焦点距離 $f$ を有する長焦点光学系3を選択している。すなわち、計算により適切な焦点距離 $f$ を算出しているため、簡易かつ短い処理時間で求められるわけであるが、任意の長焦点光学系3をCCDカメラ2に仮装着し、当該長焦点光学系3を用いて被測定流体の画像を2時刻で測定して、画像処理手段43により仮の流れ場を解析し、得られた粒子群の移動画素数が上記所定の範囲に収まっているか否かにより、適切な焦点距離 $f$ を備えた長焦点光学系3を選択する構成とすることもできる。

#### 【0021】

なお、被測定流体までの距離 $L$ の計測方法としては、煙突等の対象物に対し、レーザ距離計や測距儀などにより直接計測する方法や、GPSからCCDカメラ2の設置位置の位置情報(経度・緯度)を得て、対象物の位置(経度・緯度)との関係で算出することもできる。また、CCDカメラ2の設置位置と対象物の位置とを地図上で特定し、両者間の距離 $L$ を算出することもできる。

#### 【0022】

また、本実施形態においては、レーザ光投入手段5を備え、被測定流体にレーザ光をシート状に投入し、CCDカメラ2により撮像する。このため、コンピュータ4の制御手段41には、レーザ光投入手段5によるレーザ光の発振とCCDカメラ2の駆動との同期を図るタイミングコントロール手段41bが設けられている。

#### 【0023】

次に、本実施形態の流体計測システム1を用いて被測定流体の流れ場を測定する方法について図3に基づき説明する。

まず、CCDカメラ2を所定の位置にセットする。次に、コンピュータ4の入力手段を利用してCCDカメラ2から被測定流体までの距離 $L$ を、上記のようにレーザ距離計を用いるなどして測定し入力する(S1)。次に、被測定流体の流速 $V$ (最大流速 $V_{\text{max}}$ )を入力する(S2)。この流速 $V$ は、上記のように適切な焦点距離 $f$ を備えた長焦点光学系3を選択するための仮の値であり、任意の値でよいが、画像処理手段43により得られる2画像間の移動距離を上記のように縦又は横の全画素数の0.5~10%程度に収めるに当たり、より短い作業時間とするためには、被測定流体の最大流速 $V_{\text{max}}$ を入力することが好ましい。最大流速 $V_{\text{max}}$ は、例えば、煙突等から排出される煙の場合には、煙を送り出す送風機の仕様に基づく計算値から求められるものを用いることができる。煙突等から排出される煙の実際の最大流速は、煙突流路の圧損等により、この計算値より低く、通常、計算値以上になることはない。もちろん、送風機の仕様が特定できない場合や火

山灰等を測定する場合には、経験値等を参照しておよその最大流速  $V_{max}$  を入力する。

#### 【0024】

被測定流体までの距離  $L$ 、仮の流速  $V$ （最大流速  $V_{max}$ ）を決定したならば、焦点距離調整手段において、それらに対応する焦点距離  $f$  を上記関係式（１）、（２）を用いて算出する（S3）。この際、計算に用いる２時刻の粒子画像の撮像時間間隔  $\Delta t$  は、得られる粒子群の移動画素数を上記範囲に収めるため、できるだけ短いことが好ましい。通常  $1/60\text{ s} \sim 1/30\text{ s}$  の範囲で設定される。

#### 【0025】

このようにして焦点距離  $f$  が決定したならば、対応する長焦点光学系 3 を選択し（S4）、単レンズの場合には、例えば、ターレットを回転させて CCD カメラ 2 にセッティングし、あるいは、ズーム機構付きの場合には、ズーム調整し、レーザ光投入手段 5 からレーザ光をシート状に投入し、連続した２時刻の粒子画像を撮像する。

#### 【0026】

撮像された各画像は、画像取り込み手段 42 であるフレームグラバボードによりデジタル信号に変換され、画像処理手段 43 により各粒子画像の輝度パターンの移動量、移動方向から、被測定流体の実際の流れ場の流速、流れの方向等が求められる（S5）。

#### 【0027】

上記説明では、被測定流体の最大流速  $V_{max}$  をおよその値で手動入力した場合について説明しているが、図 4 は、手動ではなく自動入力する場合の上記流体計測システムを用いた計測方法を説明するためのフローチャートである。

#### 【0028】

この図に示したように、被測定流体までの距離  $L$  を自動又は手動で入力する点は上記と同様であるが（S10）、次工程で入力する最大流速  $V_{max}$  は、適宜の流速を初期値として決定している。具体的には、CCD カメラ 2 にセッティング可能なものとして準備されている複数種類の長焦点光学系 3 のうち、焦点距離  $f$  のもっとも短いもの、例えば、焦点距離 50 mm のもので測定可能な最大流速  $V_{max}$ （例えば、 $30\text{ m/s}$ ）が自動的に入力される（S11）。

#### 【0029】

被測定流体までの距離  $L$  と自動入力される最大流速  $V_{max}$  を用いて上記関係式（１）、（２）を満足する焦点距離  $f$  を算出する（S12）。そして、算出された焦点距離  $f$  に対応する長焦点光学系 3 を選択し、CCD カメラ 2 にセッティングし（S13）、上記と同様に流れ場を計測する（S14）。本態様においては、解析された結果から最大流速  $V_{max}$  を算出し（S15）、さらに２画像間の移動距離が検出限界以下、すなわち、移動画素数が１画素未満が否かを判定する（S16）。通常、このような事態は生じないが、自動選択された最大流速  $V_{max}$  が実際よりも大きすぎた場合には、２画像が全く同じになってしまい流れ場を解析できない（工程 S15 における最大流速も求められない）ことから、念のため、かかる判定工程を設けておくことが好ましい。移動画素数が１画素未満となった場合には、関係式（１）、（２）の計算に用いる新たな最大流速  $V_{max}$  を、

$$\text{最大流速 } V_{max}(\text{新}) = \text{最大流速 } V_{max}(\text{旧}) \times p$$

（ $p$  は任意に規定した緩和係数、例えば  $p = 0.5$ ）

により算出し、改めて関係式（１）、（２）を満足する焦点距離  $f$  を求め、再度上記工程 S12～S16 を繰り返す。

#### 【0030】

移動画素数が１画素以上の場合には、２画像間の移動距離（移動画素数）が、撮像素子の縦又は横の全画素数に対して  $0.5 \sim 10\%$  程度（例えば、縦（又は横）の全画素数 1000 画素の場合で、 $5 \sim 100$  画素）か否かがチェックされる（S17）。かかる条件を満足しない場合には、工程 S15 により求められた最大流速  $V_{max}$  を用い、工程 S12 に戻り、長焦点光学系 3 を選択し直す。条件を満足する場合は、結果を出力し、計測が終了する。

#### 【0031】

図5は、本発明の他の実施形態に係る流体計測システム100を示す図である。この流体計測システム100は、CCDカメラ110、該CCDカメラ110に装着される長焦点光学系120及びコンピュータ130を備える点は上記実施形態と同様であるが、レーザー光投入手段を有していない点で異なる。

#### 【0032】

本実施形態では、レーザー光を投入せずに自然光下で被測定流体を撮像するものである。従って、撮像可能な被測定流体は、水蒸気、火山灰、煙突からの煙、黄砂などの自然光下で反射可能なものに限られる。本実施形態によれば、レーザー光を投入する必要がないため、より遠方の被測定流体の流れ場解析に適する。

#### 【0033】

ここで、PIV手法により捉える粒子画像は、一つの粒子がCCD撮像素子の2画素以上に跨っている必要があり、さらには2～5画素に跨って捉えられることが好ましいとされているが、遠方の被測定流体を長焦点光学系3を介して撮像した場合、1画素中に含まれる粒子数は多数となり、粒子一つ一つの挙動を2時刻の画像により解析することは困難ないしは不可能である。そこで、本実施形態では、画像取り込み手段42により取り込まれた画像について輝度の空間周波数を演算し、演算した空間周波数成分から所定以上の高周波成分を残すためのハイパスフィルタを備え、ハイパスフィルタを通した後の成分を再び画像へ変換する構成としている。ハイパスフィルタにより、得られた輝度の周波数成分をフィルタリングして所定以上の高周波成分のみを残すことにより、被測定流体のうちから、自然光により反射する粒子の一つ一つを捉えるのではなく、被測定流体中に生じている乱流構造を抽出することができる。ここでいう乱流構造は、渦、ないしは渦に類似した流れ構造からなるクラスタであり、このようにクラスタとして捉えることにより、各乱流構造がCCD撮像素子の2画素以上に跨って捉えられ、PIV手法を用いた解析が可能となる。

#### 【0034】

具体的には、撮像された画像の各画像信号をフーリエ変換するなどして空間周波数成分を求め、これをハイパスフィルタによりフィルタリングする。ハイパスフィルタによりフィルタリングする際の空間周波数 $f'$ は、次式、

$$(S_t/D) \times 1/3 \leq f' \leq (S_t/D) \times 5 \cdots (3)$$

(但し、式中、「 $S_t$ 」はストローハル数、「 $D$ 」は乱流構造を発生する物体の代表長さである。)

の範囲で決定することが好ましい。

ここで、空間周波数 $f'$ は、図18に示した例では、煙突から排出される煙の渦のスケールである空間波長 $L$ の逆数であるが、空間波長 $L$ を直接求めることはできない。その一方、連続する2つの渦の中心間距離 $L'$ は次式により求めることができる。

$$L' = U \times T \cdots (4)$$

(但し、 $U$ は煙の主流速度、 $T$ は渦の放出周期である。)

そこで、この $L'$ を空間波長に置き換えると、空間周波数 $f' = 1/L'$ となる。

一方、ストローハル数 $S_t = (1/T) \times (D/U)$ より、

$$U = (1/T) \times (D/S_t) \cdots (5)$$

となる。

そして、(5)式を(4)式に代入すると、

$$L' = D/S_t、すなわち、f' = 1/L' = S_t/D \cdots (6)$$

となる。

(6)式により求められる $f'$ がフィルタリング時において用いられる空間周波数となるが、有効な乱流構造を抽出するに当たっては、(6)式により求められる値のみに限定されず、(6)式により求められる $f'$ の値の $1/3$ 倍以上5倍以下の範囲で決定することができ、上記(3)式が空間周波数 $f'$ を決定する条件となる。

#### 【0035】

(3)式(又は(6)式))によれば、主流速度 $U$ や放出周期 $T$ を求めることなく、乱

流構造を発生する物体の代表長さ $D$ とストローハル数 $St$ のみで空間周波数 $f'$ を容易に求めることができる。代表長さ $D$ は、例えば、煙突の直径であるため、容易にその値を知ることができると共に、ストローハル数 $St$ は、実験により、乱流構造を発生する物体の形状に応じてその値が既知となっている（例えば、井上、木谷「乱れと波の非線形現象」（朝倉書店 1993）162頁参照）。

#### 【0036】

フィルタリング時の空間周波数 $f'$ として、上記（3）式の範囲より小さな値を用いた場合には、原画像に近くなり乱流構造を識別できず、大きい値を用いた場合には、乱流構造自体も除去されてしまうため、好ましくない。

#### 【0037】

##### A. 遮蔽体の有効性確認シミュレーション試験

試験例1～2は、粒子画像がCCDカメラに2画素以上に跨って撮影される場合（長距離用）を、試験例3は粒子画像がCCDカメラの1画素中に複数撮影される場合（超長距離用）についてのシミュレーション試験である。

#### 【0038】

（試験例1）

・各シミュレーションで算出に用いる流体計測システムの条件

（a）長焦点光学系

口径140mm、焦点距離2,000mm

（b）CCDカメラ

1画素当たりの大きさ：9 $\mu$ m

#### 【0039】

・計測シミュレーション

図6は、20m離れた距離から上記光学望遠鏡を使用して撮像される直径30 $\mu$ mのレーザー1個の粒子画像（エアリーディスクの画像）を示すシミュレーションであり、（a）は、主鏡の前面の中央部を含んで被覆する遮蔽体（中央遮蔽体）による中央遮蔽率（中央遮蔽体の直径／光学望遠鏡の口径）0%の場合を、（b）は、中央遮蔽率35%の場合を、（c）は、中央遮蔽率50%の場合をそれぞれ示す。図6（a）では、エアリーディスクの中央の円盤のみが際立っているが、（b）、（c）のように中央遮蔽率を上げると、中央の円盤を取り囲むリフラクションリングの強度が強くなり、結果的に、このリフラクションリングも含めたエアリーディスクの画像、すなわち、レーザーの粒子画像をピンぼけすることなく拡大できることがわかる。そして、これをCCD撮像素子の画素上でシミュレーションするとそれぞれ図7（a）～（c）のようになる。この図から明らかなように、中央遮蔽率0%の場合には、画像が2画素に跨っているのみであるが、35%、50%になると3画素に跨って捉えられ、しかも順に画像が明るくなることがわかる。適切な中央遮蔽率は、光学望遠鏡の口径や被測定流体までの距離などによっても異なるが、一つの粒子画像が2画素以上に跨って撮像されている場合、20～60%の範囲で選択することが好ましい。

#### 【0040】

ここで、粒子画像、すなわちエアリーディスクの画像を拡大する手段として、従来、焦点距離をずらしてピンぼけさせる手法が知られている。図6（d）は、図6（a）と同じ条件で、焦点距離のみを0.3mmずらして撮影されたエアリーディスクの画像である。これにより、図6（a）と比較した場合には、エアリーディスクの画像が拡大されるが、ピンぼけ状態となってエッジが不明瞭であるため、PIV解析には適さない。図6（e）、（f）は、焦点距離を0.3mmずらした状態で、中央遮蔽率35%、50%とした場合の画像であるが、いずれの場合も、図6（b）、（c）のピン트가合った状態と比較すると、エアリーディスクの中央の円盤及びリフラクションリング共にエッジが不明瞭になっていることがわかる。また、長焦点光学系3の口径を小さくすることによっても、粒子画像（エアリーディスクの画像）は大きくなる。図6（g）は、口径70mmの光学望遠鏡により撮像した画像を示すものであるが、図6（a）と比較して粒子画像は大きくなっ

ているものの、明るさが不足し、P I V解析には適さない。

#### 【0041】

##### （試験例2）

図8（a）は、「Okamoto, K., Nishino, S., Saga, T. and Kobayashi, T., "Standard images for particle-image velocimetry,"

Meas. Sci. Technol., 11, 685-691, 2000」に掲載されているP I V解析に利用される標準画像（No. 5）の一例である。

図8（a）の標準画像の粒子画像の直径は5画素であり、20m離れた距離において30 $\mu$ mの粒子を撮影したものとすると、その分解能は16.2画素/arcsecである。そこで、かかる条件に従って、この標準画像を用いて、試験例1と同じ流体計測システム1で撮影した場合をシミュレーションすると、図8（b）～（d）に示したようになる。図8（b）は、中央遮蔽体による中央遮蔽率（中央遮蔽体の直径/光学望遠鏡の口径）0%の場合を、（c）は、中央遮蔽率35%の場合を、（d）は、中央遮蔽率50%の場合をそれぞれ示す。

この結果からも、中央遮蔽率が35%、50%と上がるほど、より鮮明な粒子画像が得られることがわかった。

なお、同様の条件で、長焦点光学系3の口径を70mmとした場合（中央遮蔽率0%）、250mmとした場合（中央遮蔽率50%）のシミュレーション結果が、図8（e）及び（f）に示したものであり、口径が大きくなるほど、より鮮明な粒子画像が得られることがわかる。

#### 【0042】

##### （試験例3）

図9（a）は、CCDカメラ2の1画素中に、多数の粒子からの散乱光の輝度情報が記録される場合のシミュレーション用の原画像であり、図9（b）～（d）は、試験例1と同様の流体計測システム1により撮影した場合をシミュレーションした画像である。

図10（a）は、図9（a）と同様に多数の粒子からの輝度情報がCCDカメラ2の1画素中に記録される平行光源の原画像であり、図10（b）～（d）は試験例1と同様の流体計測システム1により撮影した場合をシミュレーションした画像である。なお、図9（b）及び図10（b）は、中央遮蔽体による中央遮蔽率0%の場合を、図9（c）及び図10（c）は、中央遮蔽率35%の場合を、図9（d）及び図10（d）は、中央遮蔽率50%の場合をそれぞれ示す。また、図10（e）は口径70mmの長焦点光学系を使用した場合であって、中央遮蔽率0%の場合のシミュレーション画像である。

これらの図から明らかなように、1画素中の粒子数が複数になる場合には、試験例1及び試験例2の場合と異なり、中央遮蔽率が高くなると画像が不鮮明になることがわかった。従って、被測定流体の乱流構造を抽出して測定する超長距離用に用いる流体計測システム100においては、遮蔽体の遮蔽率は低いほど好ましい。好ましい遮蔽率は0～40%であり、より好ましくは0～20%であり、最も好ましくは0%である。但し、図10（b）及び図10（e）を比較すると、長焦点光学系の口径が大きくなると画像が鮮明になる点は試験例1及び試験例2と同様であった。

#### 【0043】

##### B. 実際の流れ場の解析試験

上記各流体計測システム1，100について、長焦点光学系3，120を介して被測定流体を撮像し、P I V手法によりその流れ場を解析する試験を行った。

#### 【0044】

##### （試験例4）

・流体計測システム1（長距離用）の構成

##### （a）長焦点光学系3

TV-76光学望遠鏡（TELE VUE OPTICS社製、（口径76mm、焦点距離480mm））

上記TV-76光学望遠鏡の固有の中央遮蔽率は0%であるが、主鏡前面に遮蔽体を付



設し、遮蔽率（中央遮蔽率）を50％に調整した。

なお、上記TV-76はCCDカメラ2に装着して、20m及び50m離れた位置から、方眼紙及びスケールの画像を撮影して比較したところ、像のゆがみがないことを確認した。

(b) CCDカメラ2

製品名「MEGAPLUS ES1.0 (10-bit)」(Redlake社製 (1画素当たりの大きさは9  $\mu$ m))

(c) フレームグラバーボード

製品名「PIXCI-D2X」(EPIX社製) (フレームグラバーボードを介して、CCDカメラ2により得られたデジタル画像信号がコンピュータ4のハードディスクに記録される。)

(d) レーザ光投入手段5

ND-YAGレーザー (製品名「Gemini PIV 120mJ」(New Wave Research Co.製))

【0045】

・計測

長焦点光学系3を備えたCCDカメラ2の設置位置から被測定流体までの距離Lを20mとし、トレーサー粒子としてウォータミストを噴霧すると共に、レーザー光投入手段5によりND-YAGレーザーをシート状に投入し、撮像時間間隔 $\Delta t = 1/15$  sで2時刻の画像を3組得た。

得られた各組の2時刻の画像信号は、フレームグラバーボードから画像処理手段43にデジタル信号として送られ、相互相関法により解析処理された。3組の解析された被測定流体の流れ場の様子が図11である。図11から明らかなように、被測定流体までの距離が20mあり、長焦点光学系3を用いているにもかかわらず、十分な輝度でトレーサー粒子の移動量、移動方向を捉えることができている。平均の速度場は $1/5$  sであり、各組の最大ベクトル値は、それぞれ、14.35画素、19.63画素及び16.95画素であり、平均は16.97画素であった。これは、 $16.97 \times 15$  より、 $254.6$  画素/s =  $38.95$  mm/sの流速となる。

【0046】

(試験例5)

・流体計測システム1 (長距離用) の構成

試験例4と同様

【0047】

・計測

図12に示したように、建物内に展示用に設置した送電線鉄塔の側方20m離れた地点に試験例4と同じCCDカメラ2を設置し、送電線鉄塔周囲の気流を測定した。具体的には、ファンにより $0.4$  m/sの気流を生起させると共に、送電線鉄塔の送電線懸架部付近の測定エリア (送電線鉄塔の接地面から約7mの高さ付近) に、トレーサー粒子としてウォータミスト及びダストを噴霧し、送電線鉄塔の下方から、レーザー光投入手段5によりND-YAGレーザーをシート状に投入して測定した。撮像時間間隔 $\Delta t = 1/15$  sで、2時刻の画像を撮像した。

得られた各組の2時刻の画像信号を試験例4と同様に解析処理した流れ場の様子が図13である。図13から明らかなように、本試験例においても、十分な輝度でトレーサー粒子の移動量、移動方向を捉えることができている。従って、図12に示したシステムは、地上高50～60m程度に設置される送電線の周囲の気流や、高層ビル周囲の風速分布の測定に使用できる。

【0048】

(試験例6)

・流体計測システム100 (超長距離用) の構成

(a) 長焦点光学系120

マクストフ・カセグレイン光学望遠鏡 (ORION OPTICS社製、製品名「OMI-140」 (口径140mm、焦点距離2,000mm))

なお、測定時は、レデューサーを用いて焦点距離 1, 260 mm に調整した。

また、主鏡前面には遮蔽体を設けていないが、上記マクスツフ・カセグレイン光学望遠鏡の固有の中央遮蔽率は 33 % であった。

上記マクスツフ・カセグレイン光学望遠鏡は CCD カメラ 110 に装着して、20 m 及び 50 m 離れた位置から、方眼紙及びスケールの画像を撮影して比較したところ、像のゆがみがないことを確認した。

(b) CCD カメラ 110

製品名「MEGAPLUS ES1.0 (10-bit)」(Redlake社製 (1画素当たりの大きさは  $9\ \mu\text{m}$ ))

(c) フレームグラバード

製品名「PIXCI-D2X」(EPIX社製) (フレームグラバードを介して、CCD カメラ 2 により得られたデジタル画像信号がコンピュータ 4 のハードディスクに記録される。)

なお、その他は、レーザ光投入手段を備えていないことを除き、試験例 4 と全く同じである。

【0049】

・計測

被測定流体は、火力発電所の煙突先端から排出される排煙とし、被測定流体から 7.8 km 離れた位置に流体計測システム 100 を設置した。日光下、撮像時間間隔  $\Delta t = 1/30\ \text{s}$  で撮像した。得られた 2 時刻の各画像信号をフーリエ変換して空間周波数成分を求め、これを上記したハイパスフィルタにより所定以上の高周波成分のみを残し、乱流構造を抽出した。本試験例の場合、フィルタリングする周波数  $f'$  の決定に用いる上記式の代表長さ  $D$  は、煙突先端の吐出口の直径を 10 m とし、ストローハル数  $St$  は、流れの解析における一般的な数値 (例えば、井上、木谷「乱れと波の非線形現象」(朝倉書店 1993) 162 頁) から 0.4 としており、結果として、 $f'$  は、 $0.04\ (1/\text{m})$  となっている。そして、この乱流構造の画像を画像処理手段 43 において相互相関法により解析処理した。

【0050】

図 14 は、本試験例の被測定流体である排煙の原画像を示す。図 15 は、ハイパスフィルタによりフィルタリングしたものを逆変換して示した乱流構造の画像である。図 15 から、ハイパスフィルタによりフィルタリング処理されることにより、乱流構造が抽出されていることがわかる。図 16 は、図 15 のようにして求めた 2 時刻の画像を用いて、被測定流体の流れ場の様子をベクトルで示した図である。図 16 に示したように、本試験例の手法により、十分な輝度で排煙の移動量、移動方向を捉えることができた。

【0051】

比較のため、上記により測定された排煙と同じ条件下で、数値解析コード「STAR-CD (商品名)」を用いてシミュレーションを行った。そのシミュレーション結果が、図 17 である。図 16 と図 17 とを比較すると、上昇する排煙の形状、速度ベクトルがよく一致していた。また、図 16 から得られた煙突から排出される排煙の流量は火力発電所の運転流量とほぼ一致していた。従って、本試験例で用いた計測システムは、被測定流体までの距離が 7.8 km といった超長距離における流れ場の測定に適していることがわかる。

【産業上の利用可能性】

【0052】

以上のことから、本発明では、長焦点光学系を用いて撮像し、得られた画像を PIV 手法を用いて処理することにより、接近困難な遠方の被測定流体の流れ場を解析することができる。従って、例えば、煙突の煙の流れ場を解析することによる発電所の運転管理や、火山灰、黄砂の流れ場を解析することによる環境への影響評価などに利用することができる。また、遠方の被測定流体にレーザ光を投入可能とすることにより、空気流の解析も可能である。なお、長焦点光学系から被測定流体までの距離は、長焦点光学系や使用する撮像素子の精度によっても異なり、特に限定されるものではないが、入手可能な長焦点光学

系等の性能を考慮すると、10 m以上20 km以下で用いることが実用的には好ましい。

## 【図面の簡単な説明】

【0053】

【図1】図1は、本発明の一の実施形態に係る流体計測システムの概要を示す図である。

【図2】図2は、上記実施形態に係る流体計測システムのコンピュータの概略構成を示すブロック図である。

【図3】図3は、上記実施形態に係る流体計測システムを用いた流体計測方法の一態様を示す図である。

【図4】図4は、上記実施形態に係る流体計測システムを用いた流体計測方法の他の態様を示す図である。

【図5】図5は、本発明の他の実施形態に係る流体計測システムの概要を示す図である。

【図6】図6は、光学望遠鏡を使用して撮像されるトレーサーの粒子画像（エアリーディスクの画像）を示すシミュレーション図であり、（a）は、中央遮蔽体による中央遮蔽率（中央遮蔽体の直径／光学望遠鏡の口径）0%の場合を、（b）は、中央遮蔽率35%の場合を、（c）は、中央遮蔽率50%の場合をそれぞれ示し、（d）は、（a）と同じ条件で、焦点距離のみを0.3 mmずらして撮影されたエアリーディスクの画像であり、さらに、（e）、（f）は、焦点距離を0.3 mmずらした状態で、中央遮蔽率35%、50%とした場合の画像である。

【図7】図7は、図6のトレーサーの粒子画像をCCD撮像素子の画素上でシミュレーションした図であり、（a）は、中央遮蔽体による中央遮蔽率（中央遮蔽体の直径／光学望遠鏡の口径）0%の場合を、（b）は、中央遮蔽率35%の場合を、（c）は、中央遮蔽率50%の場合をそれぞれ示す。

【図8】図8（a）は、PIV解析に利用される標準画像の一例であり、図8（b）～（d）は（a）の標準画像を用いたシミュレーション図であり、図8（e）及び（f）は口径を異ならせた場合のシミュレーション図である。

【図9】図9（a）は、CCDカメラの1画素中に、多数の粒子からの散乱光の輝度情報が記録される場合のシミュレーション用の原画像であり、図9（b）～（d）は、試験例1と同様の流体計測システムにより撮影した場合をシミュレーションした画像である。

【図10】図10（a）は、図9（a）と同様に多数の粒子からの輝度情報がCCDカメラの1画素中に記録される平行光源の原画像であり、図10（b）～（d）は試験例1と同様の流体計測システムにより撮影した場合をシミュレーションした画像である。

【図11】図11は、試験例4で計測した被測定流体の流れ場の様子を示す図である。

【図12】図12は、試験例5の流体計測システムの概要を説明するための図である。

【図13】図13は、試験例5で計測した被測定流体の流れ場の様子を示す図である。

【図14】図14は、試験例6の被測定流体である排煙の原画像を示す図である。

【図15】図15は、試験例6においてハイパスフィルタによりフィルタリングしたものを逆変換して示した乱流構造の画像である。

【図16】図16は、試験例6で計測した被測定流体の流れ場の様子を示す図である。

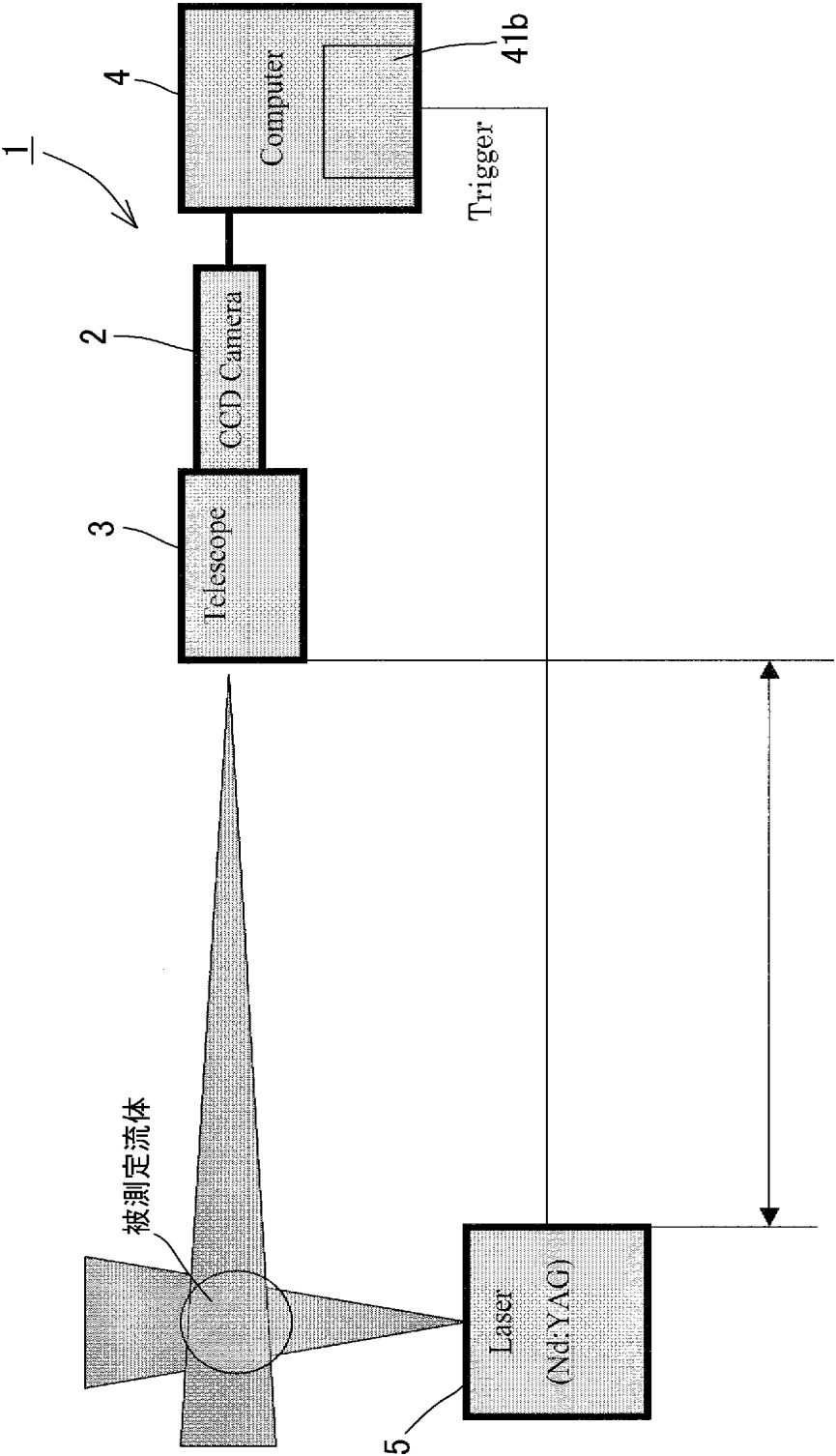
【図17】図17は、試験例6と同様の条件下における排煙のシミュレーション図である。

【図18】図18は、ハイパスフィルタによるフィルタリングする際の空間周波数の求め方を説明するための図である。

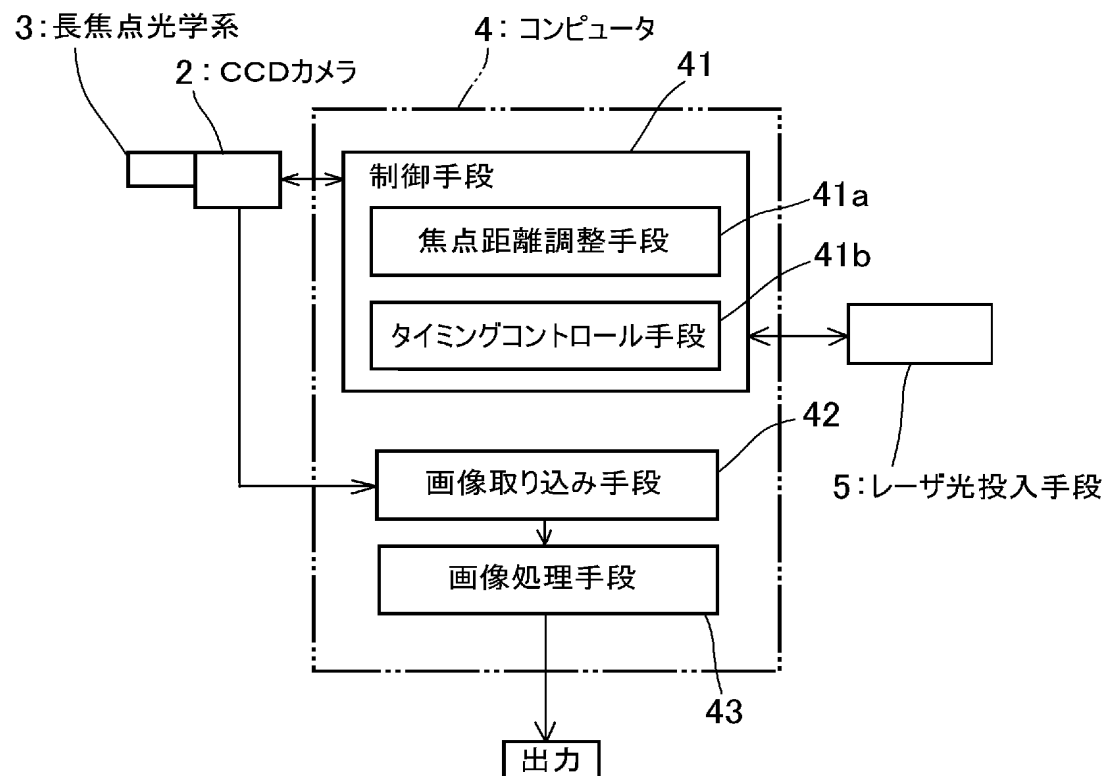
【符号の説明】

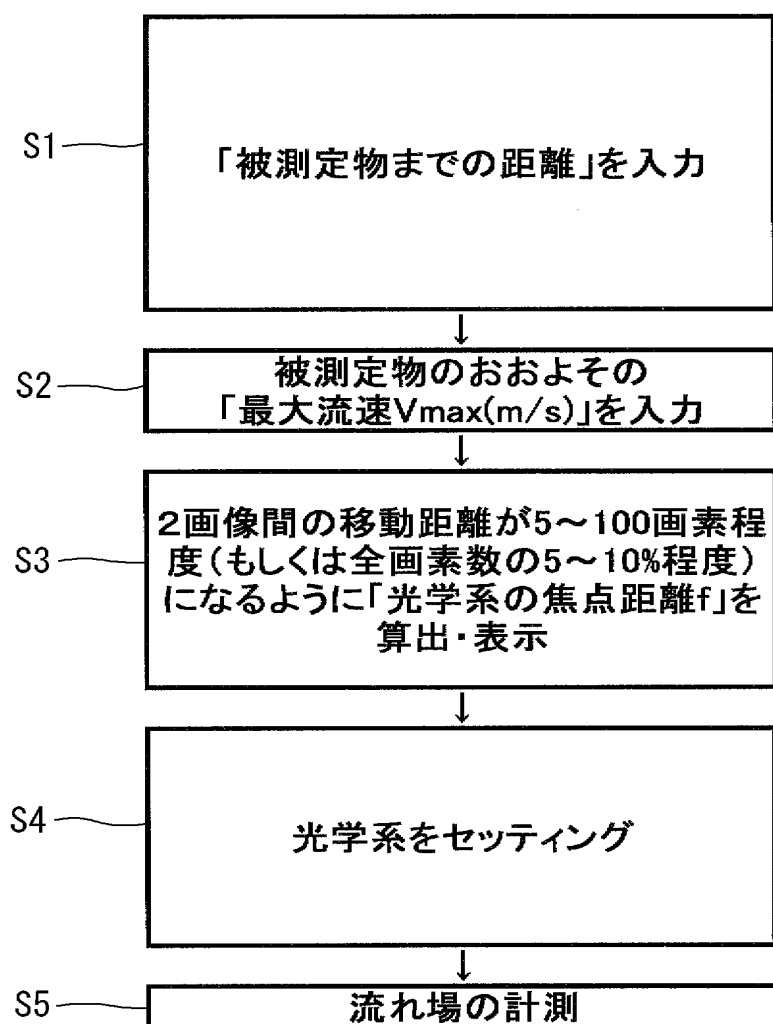
【 0 0 5 4 】

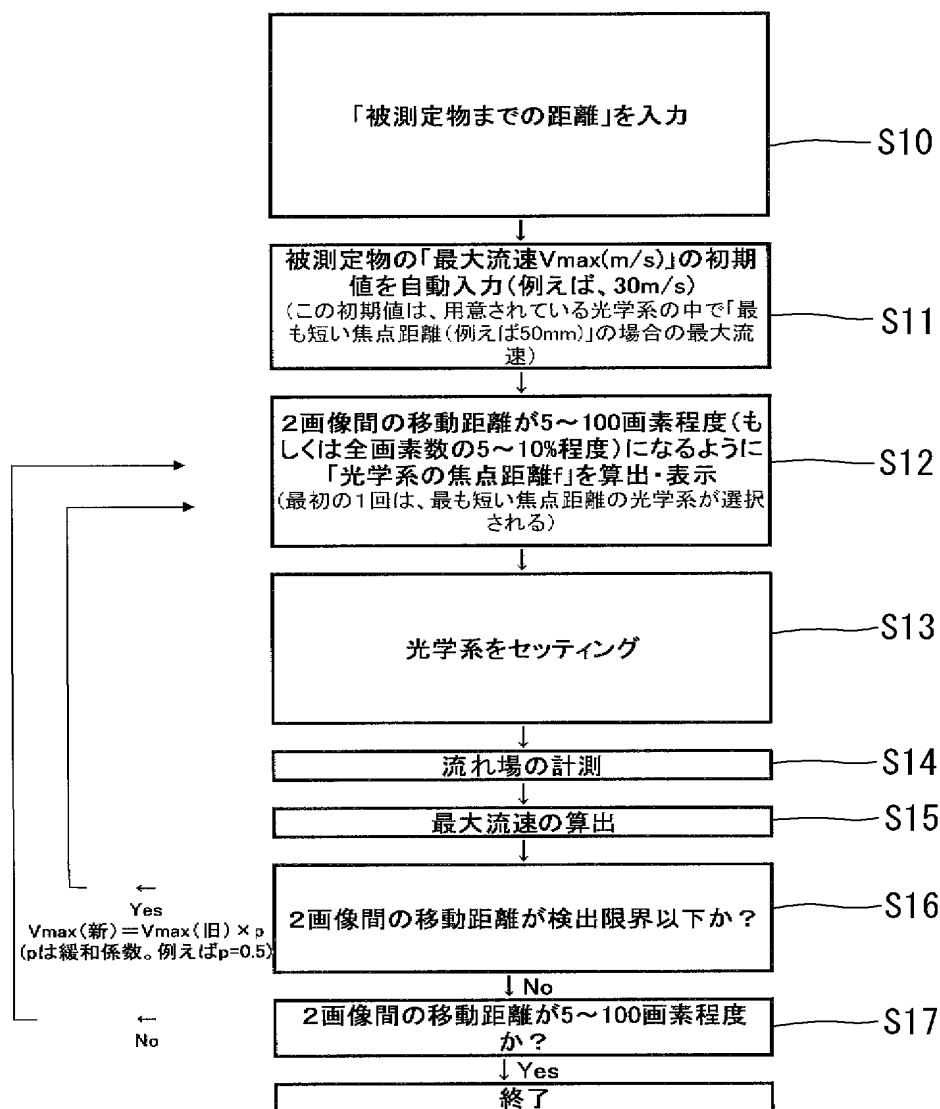
- 1, 1 0 0 流体計測システム
- 2, 1 1 0 C C D カメラ
- 3, 1 2 0 長焦点光学系
- 4, 1 3 0 コンピュータ
- 4 1 制御手段
- 4 1 a 焦点距離調整手段
- 4 1 b タイミングコントロール手段
- 4 2 画像取り込み手段
- 4 3 画像処理手段
- 5 レーザ光投入手段



【図 2】

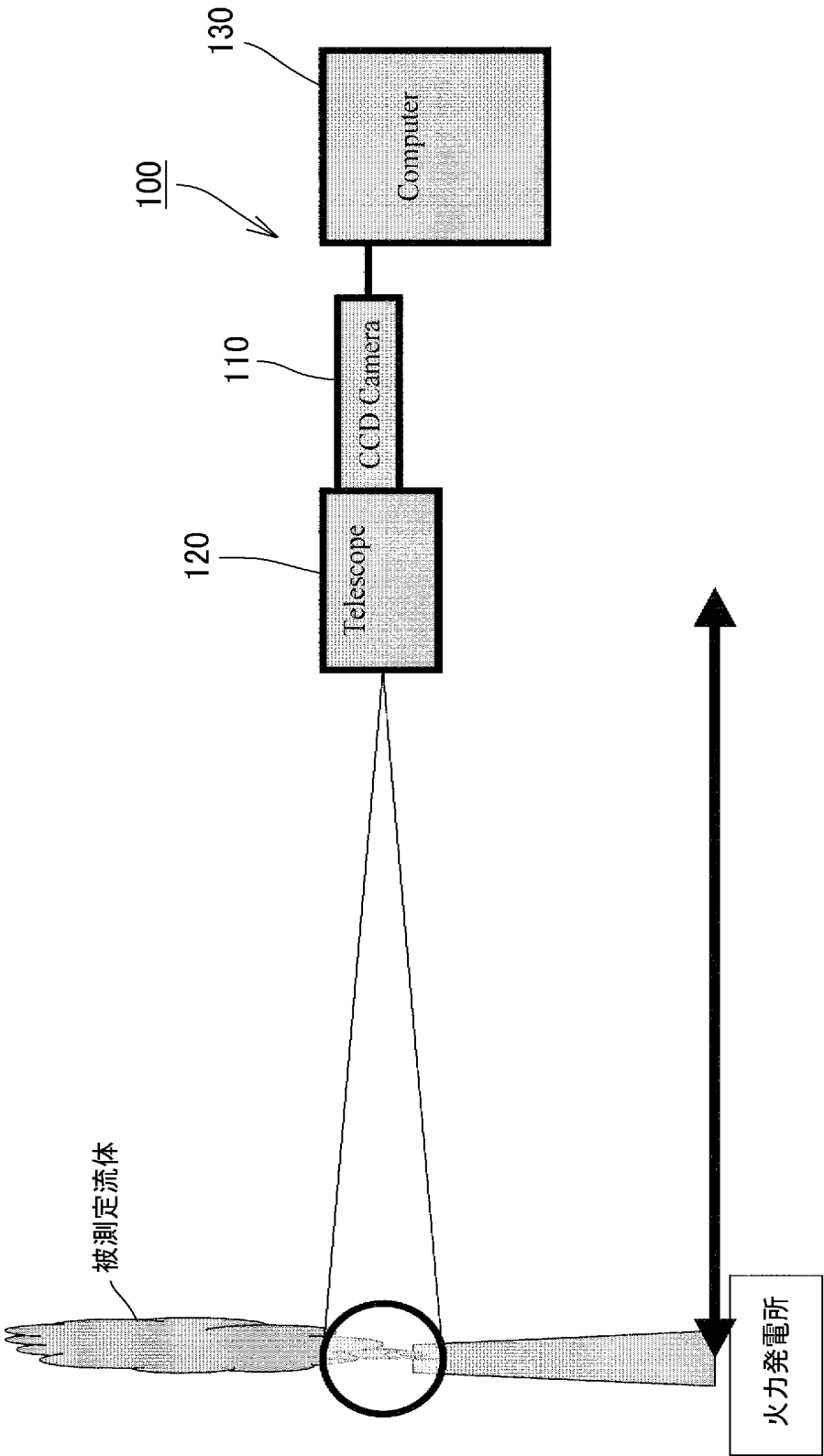




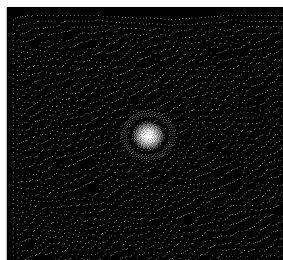




【図 5】

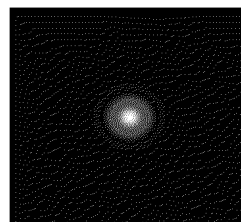


(a)



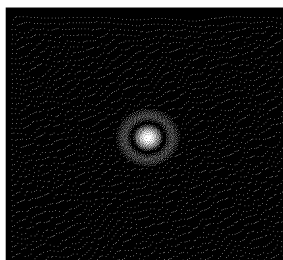
口径 140 mm (中央遮蔽率 0%)  
(入力はデルタ関数 :  
レーザーが 1 個の場合を模擬)

(d)



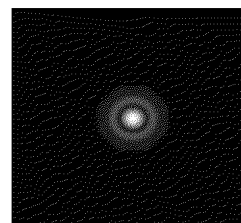
口径 140 mm (中央遮蔽率 0%)  
(焦点をずらした場合)

(b)



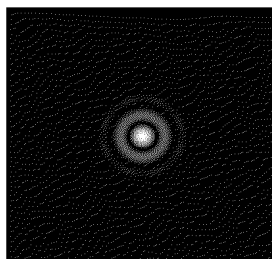
口径 140 mm (中央遮蔽率 35%)

(e)



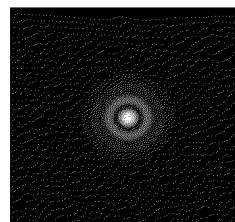
口径 140 mm (中央遮蔽率 35%)  
(焦点をずらした場合)

(c)



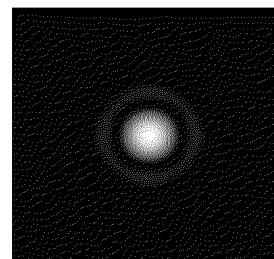
口径 140 mm (中央遮蔽率 50%)

(f)



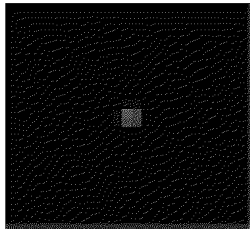
口径 140 mm (中央遮蔽率 50%)  
(焦点をずらした場合)

(g)



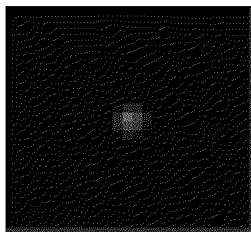
口径 70 mm (中央遮蔽率 0%)

(a)



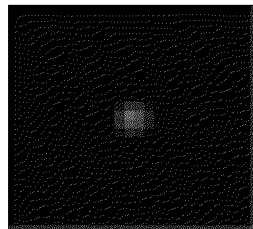
口径 140mm (中央遮蔽率 0%)  
(CCDカメラで撮影した場合のシミュレーション)

(b)



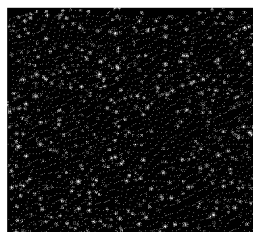
口径 140mm (中央遮蔽率 35%)  
(CCDカメラで撮影した場合のシミュレーション)

(c)



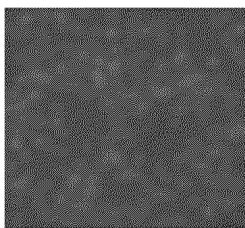
口径 140mm (中央遮蔽率 50%)  
(CCDカメラで撮影した場合のシミュレーション)

(a)



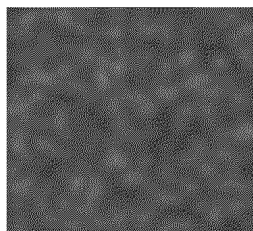
標準画像

(d)



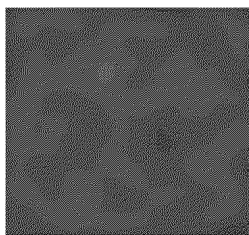
口径 140 mm  
(中央遮蔽率 50%)

(b)



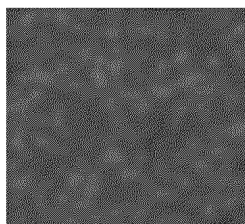
口径 140 mm  
(中央遮蔽率 0%)

(e)



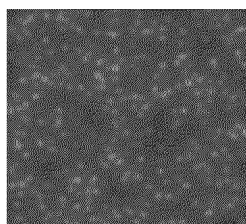
口径 70 mm  
(中央遮蔽率 0%)

(c)



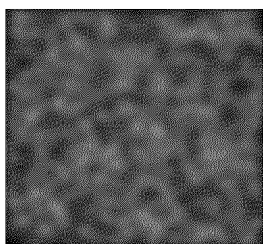
口径 140 mm  
(中央遮蔽率 35%)

(f)



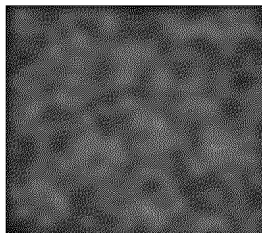
口径 250 mm  
(中央遮蔽率 50%)

(a)



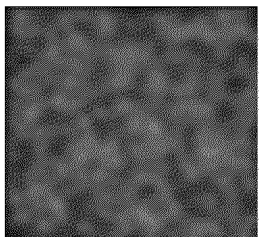
原画像

(c)



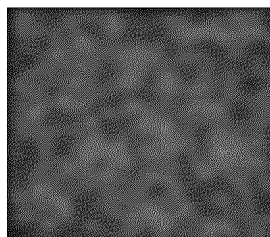
口径 140 mm  
(中央遮蔽率 35%)

(b)



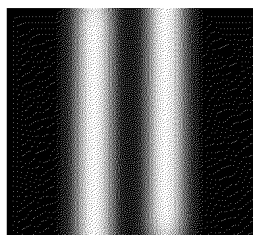
口径 140 mm  
(中央遮蔽率 0%)

(d)



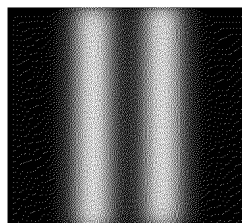
口径 140 mm  
(中央遮蔽率 50%)

(a)



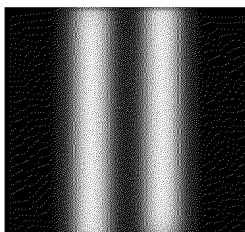
原画像

(d)



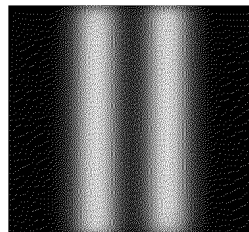
口径 140 mm  
(中央遮蔽率 50%)

(b)



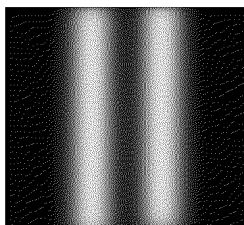
口径 140 mm  
(中央遮蔽率 0%)

(e)



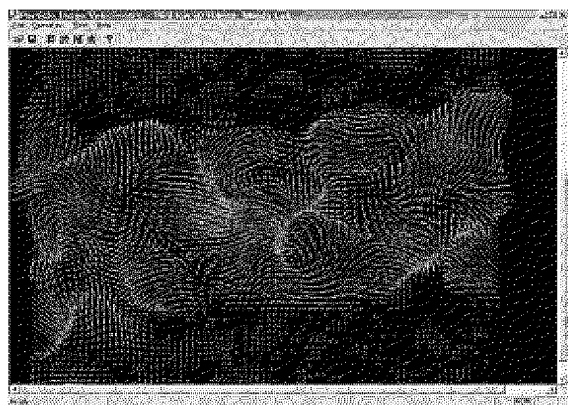
口径 70 mm  
(中央遮蔽率 0%)

(c)

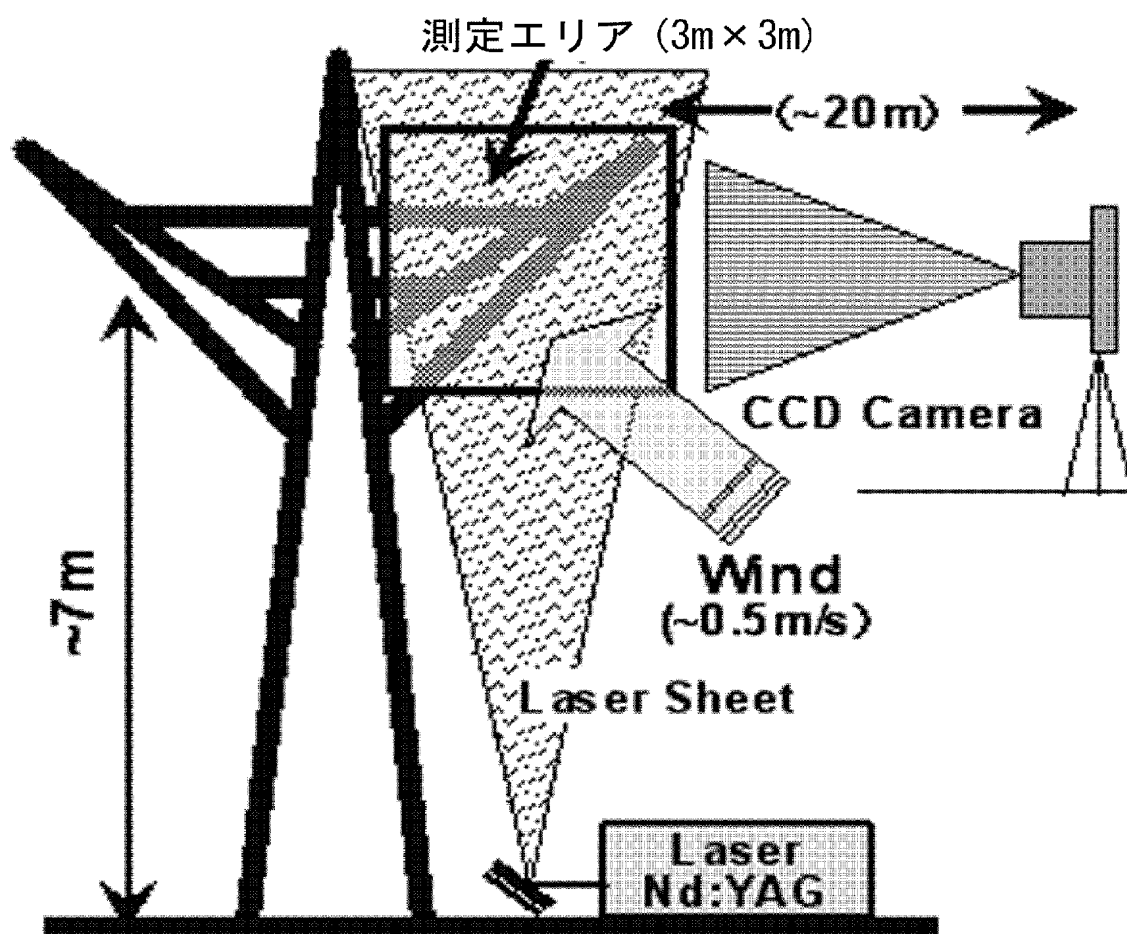


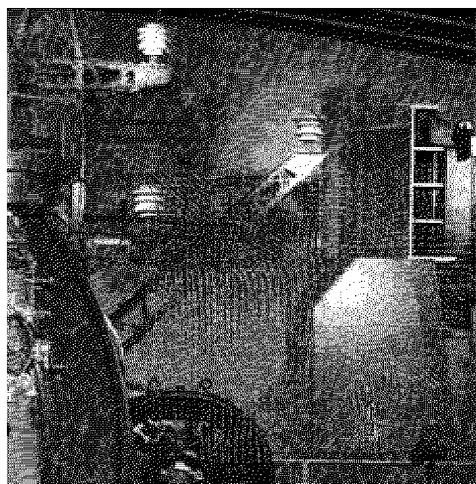
口径 140 mm  
(中央遮蔽率 35%)

【図 1 1】



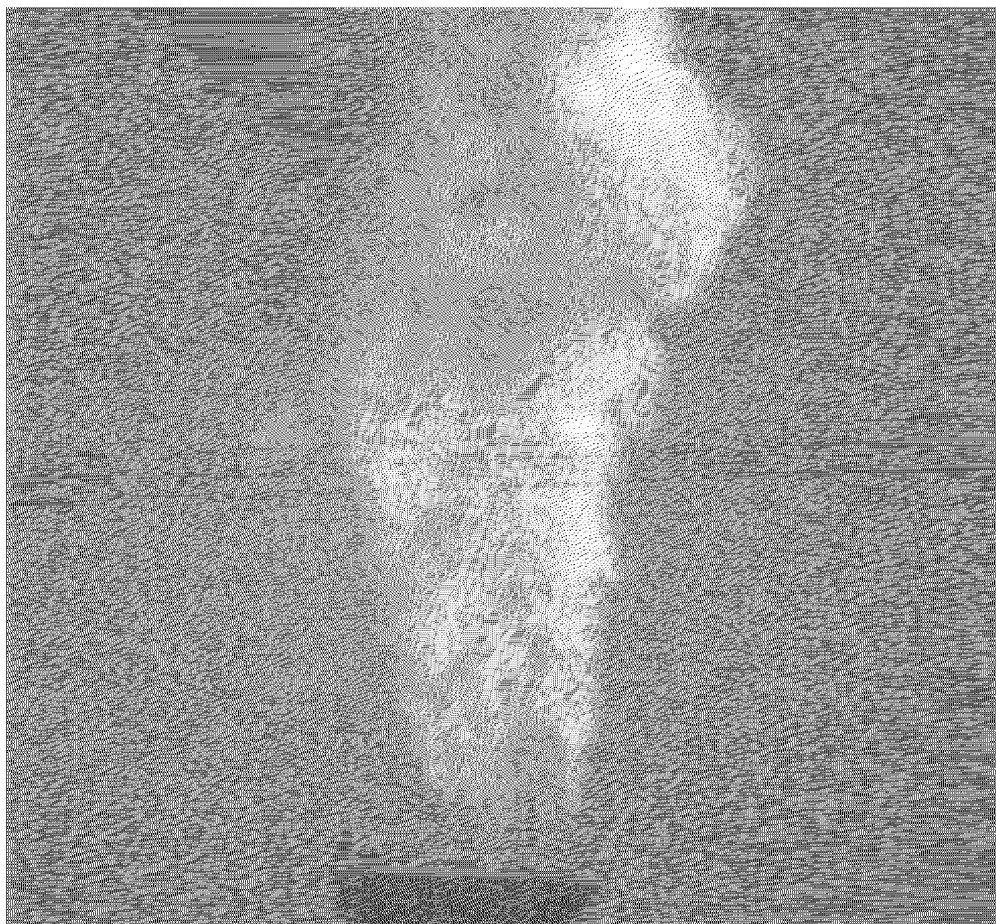
【図 1 2】



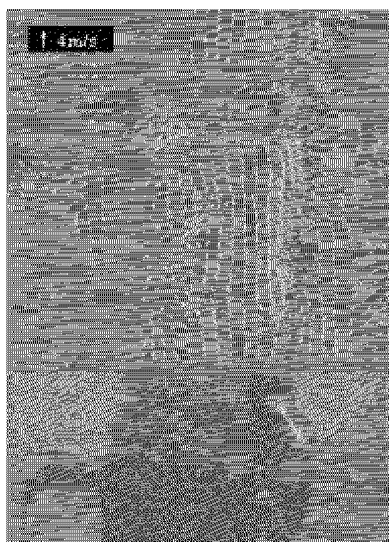


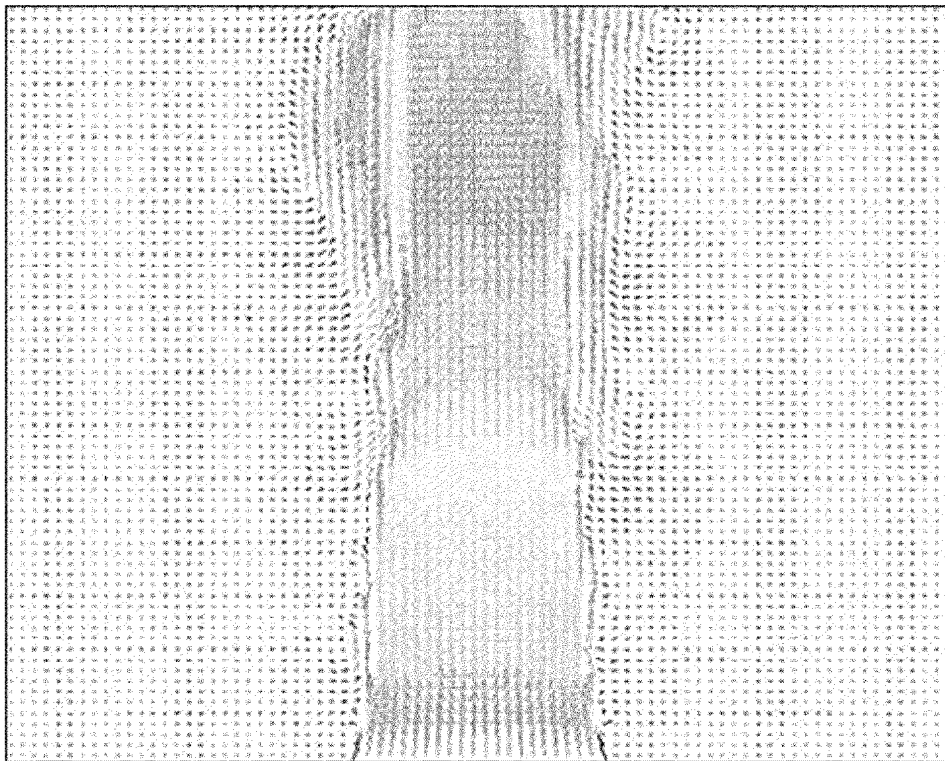


【图 1 4】









PROSTAR 3.10

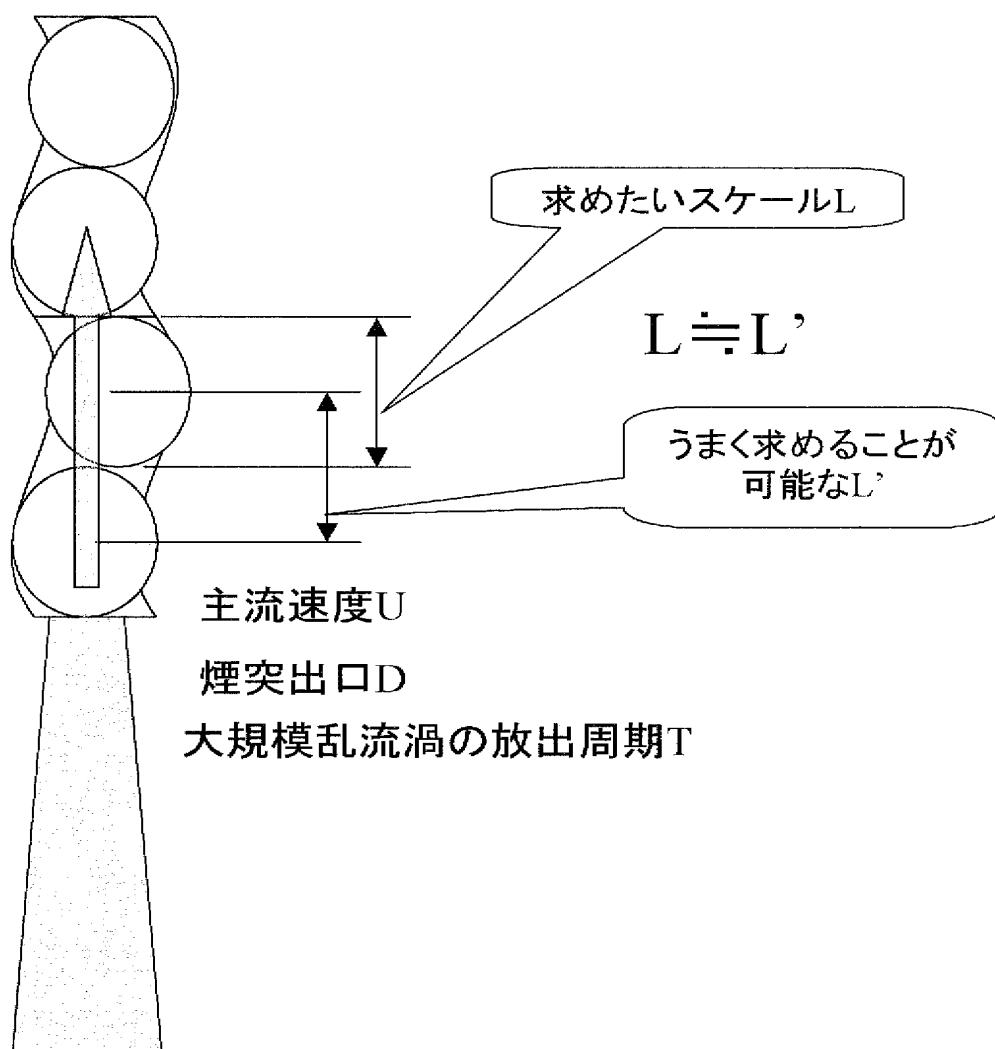
17-MAR-04  
VEL COMP V W  
M/S  
TIME = 150.000  
LOCAL MX = 20.26  
LOCAL MN = 0.2499E-03  
PRESENTATION GRID

17.50  
16.25  
15.00  
13.75  
12.50  
11.25  
10.00  
8.750  
7.500  
6.250  
5.000  
3.750  
2.500  
1.250  
0.0000



The Prediction of Heat and Flow around a Chimney ( CASE2 )  
SEC1

Analysis ID-80apco JAPAN



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 遠方の被測定流体の流動を検知でき、P I Vシステムの実用レベルでの新たな用途を提供する。

【解決手段】 本発明の流体計測システムは、C C Dカメラ2に長焦点光学系3を備えると共に、撮像した2時刻の粒子画像を比較して解析する画像処理手段4 3を備えている。このため、接近困難な被測定流体の流れ場を解析することができる。また、適切な焦点距離を備えた長焦点光学系3を選択可能な焦点距離調整手段4 1 aを設けることにより、遠方の被測定流体の流れ場を正確に解析することができる。

【選択図】 図2

【書類名】	手続補正書
【提出日】	平成16年 8月13日
【あて先】	特許庁長官 殿
【事件の表示】	
【出願番号】	特願2004-203988
【補正をする者】	
【識別番号】	000003687
【氏名又は名称】	東京電力株式会社
【代理人】	
【識別番号】	100101742
【弁理士】	
【氏名又は名称】	麦島 隆
【発送番号】	075853
【手続補正1】	
【補正対象書類名】	特許願
【補正対象項目名】	提出物件の目録
【補正方法】	追加
【補正の内容】	
【提出物件の目録】	
【物件名】	委任状 1



## 委 任 状

平成 16 年 7 月 30 日

私は、識別番号 100101742 弁理士 麦島 隆 氏  
識別番号 100101384 弁理士 的場 成夫 氏を以って

代理人として下記事項を委任します。

記

## 1. 特願 2004-203988

発明の名称：「流体計測システム、流体計測方法及び長焦点光学系」

に関する一切の件並びに本件に関する放棄若しくは取下げ、出願変更、拒絶査定不服及び補正却下の決定に対する審判の請求並びに取下げ。

## 2. 上記出願又は 特願 2004-102162

に基づく「特許法第41条第1項及び実用新案法第8条第1項の」優先権主張並びにその取下げ。

## 3. 上記出願の分割出願及び補正却下の決定に対する新たな出願に関する一切の件並びに本件に関する上記事項一切。

## 4. 上記出願に関する審査請求、優先審査に関する事情説明書の提出、刊行物の提出、実用新案技術評価の請求、証明の請求及び上記出願又は審判請求に関する物件の下附を受けること。

## 5. 第1項及び第3項の出願に基づく特許権、実用新案権、意匠権又は商標権に関する一切の件並びに本特許権、実用新案権、意匠権又は商標権の放棄。

## 6. 第1項及び第5項に関する通常実施権許諾の裁定請求、裁定取消請求並びにそれ等に対する答弁、取下其他本件に関する提出書類及び物件の下附を受けること。

## 7. 上記各項に関し行政不服審査法に基づく諸手続を為すこと。

## 8. 上記事項を処理する為、復代理人を選任及び解任すること。

住 所

氏 名

(名 称)

(代表者)

東京都千代田区内幸町1丁目1番3号

東京電力株式会社

取締役社長 勝俣恒久



代表印



## 出願人履歴

0 0 0 0 0 3 6 8 7

19900817

新規登録

東京都千代田区内幸町 1 丁目 1 番 3 号

東京電力株式会社